

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 21120051302169

UDC \_\_\_\_\_

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

# 北部湾初级生产力的时空格局与粒级结构

The temporal and spatial patterns and size-fractionated  
structure of primary productivity in Beibu Gulf

吴 易 超

指导教师姓名: 黄 凌 风 教 授

专 业 名 称: 海 洋 生 物 学

论文提交日期: 2008 年 08 月

论文答辩日期: 2008 年 08 月

学位授予日期: 2008 年 09 月

答辩委员会主席: 李少菁 教 授

评 阅 人: 李少菁 教 授

陈兴群 研究员

2008 年 08 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论 .....	1
1 海洋初级生产力的研究动态.....	3
1.1 国外研究动态.....	3
1.2 国内研究动态.....	5
2 北部湾概况.....	9
2.1 地理条件.....	9
2.2 浮游植物.....	10
2.3 渔业资源.....	11
3 本文研究意义.....	12
第二章 研究方法 .....	14
1 初级生产力测定方法.....	14
1.1 采样与分析方法.....	16
1.2 结果.....	17
1.3 讨论.....	21
1.4 北部湾站位布设与采样.....	23
2 叶绿素 $a$ 的测定方法.....	24
3 北部湾生态分区的方法.....	27
第三章 北部湾叶绿素 $a$ .....	29
1 时空分布特征.....	29
1.1 平面分布.....	29
1.2 垂直分布.....	37
1.3 季节变化.....	38
2 浮游植物的粒级结构.....	39
3 讨论.....	40
4 小结.....	44
第四章 北部湾初级生产力 .....	45
1 时空分布特征.....	45
1.1 平面分布.....	45
1.2 垂直分布.....	55
1.3 季节变化.....	57
2 粒级结构.....	58
3 叶绿素 $a$ 浓度和初级生产力的关系.....	60
3.1 夏季.....	60
3.2 冬季.....	61

3.3 春季.....	64
3.4 秋季.....	64
4 同化指数.....	67
5 讨论.....	69
<b>第五章 北部湾生态分区与各生态区的初级生产力特点.....</b>	<b>72</b>
1 生态区划的研究发展.....	72
2 生态区划的原则.....	75
3 生态区划的命名方法.....	75
4 北部湾生态分区与各生态区的初级生产力特点.....	76
<b>参考文献 .....</b>	<b>81</b>
<b>致谢.....</b>	<b>91</b>

## Contents

<b>Abstract (in Chinese)</b> .....	I
<b>Abstract (in English)</b> .....	III
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1 Study of marine primary productivity .....	3
1.1 Study abroad .....	3
1.2 Study domestic .....	5
2 Review of Beibu Gulf .....	9
2.1 Condition geography .....	9
2.2 Phytoplankton .....	10
2.3 Fishery .....	11
3 The significance of this thesis .....	12
<b>Chapter 2 Study methods</b> .....	14
1 Determination of primary productivity .....	14
1.1 Sampling and analytical methods .....	16
1.2 Results .....	17
1.3 Discussions .....	21
1.4 Station and sampling .....	23
2 Determination of chlorophyll <i>a</i> .....	24
3 Methods for ecoregion zonation of Beibu Gulf .....	27
<b>Chapter 3 Chlorophyll <i>a</i> in Beibu Gulf</b> .....	29
1 Temporal and spatial distribution characteristics of Chl <i>a</i> .....	29
1.1 Horizontal distribution .....	29
1.2 Vertical distribution .....	37
1.3 Seasonal variations .....	38
2 Size-fractioned structure of phytoplankton .....	39
3 Discussions .....	40
4 Summary .....	44
<b>Chapter 4 Primary productivity in Beibu Gulf</b> .....	45
1 Temporal and spatial distribution characteristics of primary productivity .....	45
1.1 Horizontal distribution .....	45
1.2 Vertical distribution .....	55
1.3 Seasonal variations .....	57
2 Size-fractioned structure .....	58
3 Relation between chlorophyll <i>a</i> concentration and primary productivity .....	60
3.1 Summer .....	60
3.2 Winter .....	61

3.3 Spring .....	64
3.4 Autumn.....	64
4 Assimilation index .....	67
5 Discussions .....	69
<b>Chapter 5 Ecoregion division in the study areas of Beibu Gulf .....</b>	<b>72</b>
1 Development of ecoregion study .....	72
2 Principle for ecoregion division.....	75
3 Ecoregion naming methods.....	75
4 Ecoregion of Beibu Gulf and primary productivity .....	76
<b>References .....</b>	<b>81</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>91</b>

## 摘 要

2006 年 7 月 (夏季) 和 12 月 (冬季)、2007 年 4 月 (春季) 和 10 月 (秋季), 对北部湾海域进行了 4 个航次的初级生产力调查。通过调查了解北部湾叶绿素 a 含量和初级生产力的时空分布格局, 及浮游植物和初级生产力的粒级结构, 同时首次采用聚类分析法对北部湾进行了生态分区。主要结果如下:

1、调查期间, 在北部湾的调查区域内叶绿素 a 含量范围为  $0.16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \sim 6.72 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 平均值为  $1.42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 季节变化为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季。四个航次调查表明叶绿素 a 高值区基本在湾北部雷州半岛以西的海域, 而低值区在湾南部远岸深水区海域; 叶绿素 a 含量呈现自东向西、由近岸向远岸, 由北向南逐渐递减的规律。近岸浅水区叶绿素 a 浓度垂直分布比较均匀; 深水区叶绿素 a 浓度在各采样层则存在明显差别。浮游植物粒级结构的一个显著特点是微型浮游植物 (nanophytoplankton) 在全调查海区均占较明显优势, 对总叶绿素 a 的平均贡献最大, 小型浮游植物 (microphytoplankton) 对总叶绿素 a 的平均贡献次之 (除春季外), 微微型浮游植物 (picophytoplankton) 对总叶绿素 a 的平均贡献最小 (除春季外); 远岸深水区微微型浮游植物的贡献明显高于近岸浅水区。

2、北部湾初级生产力范围为  $17.14 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \sim 2034.82 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 平均值为  $276.76 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 季节差异较明显, 春季、夏季、秋季、冬季 4 个季节初级生产力的平均值分别为  $(178.64 \pm 167.59) \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $(186.00 \pm 125.85) \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $(669.36 \pm 536.16) \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $(73.04 \pm 45.32) \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 季节变化为: 秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季。北部湾整个观测海区各层次的初级生产力差异明显, 随深度的增加而迅速减少, 表层 (100%透光层) 和 1%透光层初级生产力相差几十倍, 且大多数站位 1%透光层初级生产力小于  $1 \text{ mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。初级生产力的粒级结构的一个显著特点是总体上微型浮游生物 (nanoplankton) 在全调查海区均占较明显优势, 对总初级生产力的平均贡献最大; 微微型浮游生物 (picoplankton) 对初级生产力的平均贡献次之; 小型浮游生物 (microplankton) 对总初级生产力的平均贡献最小; 湾北部小型浮游生物对初级生产力的平均贡献高于湾中部和湾南部, 而湾中部和湾南部微型和微微型浮游生物对初级生产力的平均贡献高于湾北部, 远岸深水区高于近岸浅水区。

3、北部湾可以分为三个生态区: 湾北部近岸浅水区 (I 区), 该区的环境主



要特点是平均水深 19m, DIN 浓度平均值为  $1.88 \mu\text{mol/L}$ , DIP 浓度平均值为  $0.20 \mu\text{mol/L}$ , N:P 为 9.4:1, 硅酸盐浓度平均值为  $5.17 \mu\text{mol/L}$ , 表层叶绿素 a 平均值高达  $2.27 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 表层同化指数平均为  $3.80 \text{ mg}/(\text{mg}\cdot\text{h})$ , 初级生产力平均值  $198.78 \text{ mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , 根据初级生产力计算潜在渔业资源碳生产量平均为  $0.24 \text{ gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ , 该区主要受湾北部沿岸水系影响, 适合作为水产养殖区; 湾北部深水区 and 海南岛西部沿岸浅水区 (II 区), 该区的环境主要特点是平均水深 35m, DIN 浓度平均值为  $2.01 \mu\text{mol/L}$ , DIP 浓度平均值为  $0.18 \mu\text{mol/L}$ , N:P 为 11.2:1, 硅酸盐浓度平均值为  $4.23 \mu\text{mol/L}$ , 表层叶绿素 a 平均值  $1.45 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 表层同化指数平均为  $4.12 \text{ mg}/(\text{mg}\cdot\text{h})$ , 初级生产力平均值  $276.60 \text{ mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , 根据初级生产力计算潜在渔业资源碳生产量平均为  $0.34 \text{ gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ , 该区主要受南部湾口区海流向湾内延伸, 沿岸海南岛河流注入湾内和琼州海峡过道水的影响, 适合作为渔业作业区和水产养殖区; 湾中部和南部远岸深水区 (III 区), 该区的环境主要特点是平均水深 75m, DIN 浓度平均值为  $0.77 \mu\text{mol/L}$ , DIP 浓度平均值为  $0.15 \mu\text{mol/L}$ , N:P 为 5.1:1, 硅酸盐浓度平均值为  $3.05 \mu\text{mol/L}$ , 表层叶绿素 a 平均值  $0.70 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 表层同化指数平均为  $3.69 \text{ mg}/(\text{mg}\cdot\text{h})$ , 初级生产力平均值  $350.89 \text{ mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , 根据初级生产力计算潜在渔业资源碳生产量平均为  $0.43 \text{ gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ , 该区主要受北部湾环流影响, 适合作为渔业作业区。

**关键词:** 初级生产力; 叶绿素 a; 粒级结构; 浮游植物; 生态分区; 北部湾

## Abstract

Four cruises were carried out to study primary productivity in Beibu Gulf in July (summer), December (winter) 2006, April (spring) and October (autumn) 2007. By investigation, to understand the temporal and spatial distribution patterns of chlorophyll *a* concentration and primary productivity, and the size-fractionated structure of phytoplankton and primary productivity. In the meantime, we compartmentalized ecorgions of Beibu Gulf *via* clustering analysis. The main results were as follows:

1. The chlorophyll *a* (Chl *a*) concentration of Beibu Gulf ranged from 0.16 mg·m<sup>-3</sup> to 6.72 mg·m<sup>-3</sup>, 1.42 mg·m<sup>-3</sup> in average, with a seasonal variation pattern as winter > autumn > summer > spring. It showed that the Chl *a* high-value areas located to the west of Leizhou Peninsula in the north Gulf, and the Chl *a* low-value areas located in offshore deep waters of the south Gulf. The abundance of Chl *a* decreased gradually from east to west, from inshore to offshore, and from north to south. The vertical distribution of Chl *a* concentration in inshore shallow waters was comparatively uniform, while obvious different in all sampling layers of deep waters. As a whole, the notable characteristic of phytoplankton in size-fractionated structure was that nanophytoplankton occupied comparatively significant portion in Beibu Gulf. Nanophytoplankton has the largest contribution to the gross chlorophyll *a* in average, and microphytoplankton was the secondary contributor (except spring), while picophytoplankton was the least important (except in spring). The contribution of picophytoplankton in offshore deep waters was obviously more than that in inshore shallow waters.

2. In Beibu Gulf, the range of primary productivity was 17.14 mgC/(m<sup>2</sup>·d) ~ 2034.82 mgC/(m<sup>2</sup>·d), 276.76 mgC/(m<sup>2</sup>·d) in average. The average value of primary productivity in spring, summer, autumn and winter was 178.64±167.59 mgC/(m<sup>2</sup>·d), 186.00±125.85 mgC/(m<sup>2</sup>·d), 669.36±536.16 mgC/(m<sup>2</sup>·d), 73.04±45.32 mgC/(m<sup>2</sup>·d), and respectively. The seasonal fluctuation pattern of primary productivity was autumn > summer > spring > winter. Significant difference of the primary productivity between surface layer and the bottom of euphotic zone was found, and

primary productivity sharply decreased from surface layer to bottom of the euphotic zone. In most station, primary productivity in the bottom of euphotic zone was less than  $1 \text{ mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ . As a whole, the notable characteristic of primary productivity in size-fractionated structure was that nanoplankton occupied comparatively significant advantage in Beibu Gulf. Nanoplankton has the largest contribution to gross primary productivity, and picoplankton was the secondary contributor, while microplankton the least. The contribution of microplankton for primary productivity in the north Gulf was more than that in the other waters. Nanoplankton and picoplankton contribute more to the gross primary productivity in offshore deep waters than in inshore shallow waters

3. The Beibu Gulf can be divided into three ecoregions: Region-I is the ecoregion in inshore shallow waters of the north Gulf. In average, the water depth is 18 m, DIN is  $1.88 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , DIP is  $0.20 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , N:P is 9.4:1, dissolved silicate is  $5.17 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , the Chl *a* concentration in surface layer is  $2.27 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , the assimilation index in surface layer is  $3.80 \text{ mg}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ , the primary productivity is  $198.78 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , and potential fishery production is estimated to be  $0.24 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  according to the primary productivity. The ecoregion is mainly affected by the northern coastal water systems, and may be fit for aquaculture; Region- II is the ecoregion in offshore deep waters of the north Gulf and the coastal shallow waters to the west Hainan Island. In average, the water depth is 35 m, DIN is  $2.01 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , DIP is  $0.18 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , N:P is 11.2:1, dissolved silicate is  $4.23 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , the chlorophyll *a* of surface layer concentration is  $1.45 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , the assimilation index of surface layer is  $4.12 \text{ mg}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ , the primary productivity is  $276.60 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , and the estimated potential fishery production is  $0.34 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  according to the primary productivity. The ecoregion was mainly influenced by ocean current from the South China Sea, rivers in the west coast of Hainan Island and the water from Qiongzhou Strait. It may be fit for aquaculture and fishery; Region-III is the ecoregion in offshore deep waters of the mid and south Gulf. In average, the water depth is 75 m, DIN is  $0.77 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , DIP is  $0.15 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , N:P is 5.1:1, dissolved silicate is  $3.05 \text{ } \mu\text{mol/L}$ , the chlorophyll *a* of surface layer concentration is  $0.70 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , the assimilation index of surface layer

averaged is 3.69 mg/(mg·h), the primary productivity is 350.89 mgC/(m<sup>2</sup>·d), and the estimated potential fishery production is 0.43 gC/(m<sup>2</sup>·a) according to the primary productivity. The ecoregion was mainly affected by the circulation inside Beibu Gulf, and may be fit for fishery.

**Keywords:** primary productivity; chlorophyll *a*; size-fractioned structure; phytoplankton; ecoregion; Beibu Gulf

## 第一章 绪论

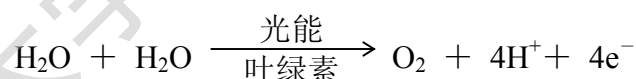
浮游植物 (phytoplankton) 作为海洋生态系的初级生产者, 是各种海洋动物直接或间接的饵料, 是海洋食物链 (网) 中最基本的环节之一, 其数量多寡和分布直接影响着海域初级生产力的水平。浮游植物的种类组成和数量分布, 对于了解海洋生产力水平, 合理开发、利用和保护海洋生物资源等具有重要意义。

初级生产力 (primary productivity), 即自养生物通过光合作用或化学合成制造有机物的速率。初级生产力包括总初级生产力 (gross primary productivity) 和净初级生产力 (net primary productivity)。前者是指自养生物生产的总有机碳量; 后者是总初级生产量扣除自养生物在测定阶段中呼吸消耗掉的量 (呼吸作用通常估计为总初级生产力的 10 % 左右)。

与陆地上一样, 海洋最主要的初级生产过程是光合作用过程, 即植物通过光合作用吸收太阳光能, 以水、CO<sub>2</sub> (包括氮、磷等营养盐类) 为原料, 把无机碳还原成植物体有机碳的过程。

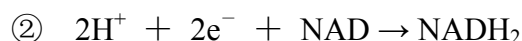
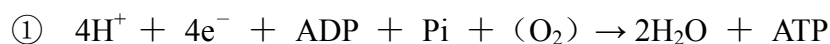
光合作用包括光反应和暗反应的一系列非常复杂的化学反应过程, 其中有的细节至今尚未清楚。

光反应 (light reaction): 主要是叶绿素吸收光能并通过一系列的光化学反应产生 O<sub>2</sub>, 同时把光能转化为 ATP 和 NADH<sub>2</sub> 的化学能, 这些反应必须在光照条件下才能进行。



(1) 吸收光能产生还原能

(2) 能量以 ATP 和 NADH<sub>2</sub> 形式贮存

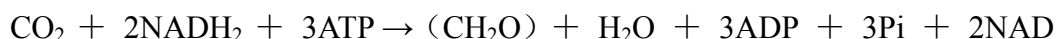


式中 Pi 为无机磷酸盐, NAD 为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸, NADH<sub>2</sub> 为其还原型, (O<sub>2</sub>) 是细胞内的一系列反应产生的, 不是气态或溶解的氧气。

实际上, 与光能吸收有关的仅是第一个反应。

暗反应 (dark reaction): 暗反应是利用上述光能转化为化学能的能量进行酶促反应, 即以光反应中产生的高能 ATP 和 NADH<sub>2</sub> 把 CO<sub>2</sub> 还原成高能的碳水化合

物 ( $\text{CH}_2\text{O}$ ),  $\text{NADH}_2$  在反应中起氢供体的作用。



应当指出,叶绿素是光合作用中能把吸收的光能直接通过电子传递给光合系统的色素,其吸收峰仅限于某些波长范围。不过,海洋藻类还具有其它类型辅助色素 (accessory pigments), 包括胡萝卜素、岩藻黄素、藻蓝蛋白, 等等, 它们可以吸收其它波长的可见光, 并把这些能量传递给叶绿素。如果考虑到海水中的光学条件, 辅助色素对海洋植物的能量利用效率 (从而对初级生产力效率) 有重要意义 (沈国英等, 2002)。

浮游植物初级生产力是海洋生态学研究的重要内容, 是描述海洋生态系统及其环境特征的重要参数。海洋初级生产力是反映海水肥沃与贫瘠的重要指标, 是海洋有机物的最初来源, 也是海洋生态系食物网结构与功能的基础环节, 是供养和维持海洋巨大生物资源的物质基础, 对于维持生态系统食物网各营养阶层的生产及依此评价水产资源的生产潜力和对资源的合理开发、利用和保护具有重要意义 (郝镭等, 2007; 宁修仁等, 1995; 马志强等, 2004)。

很多科学家认为,  $\text{CO}_2$  是造成全球变暖的最重要“温室效应气体”。由于海洋浮游植物的光合作用将海水中数量巨大的  $\text{CO}_2$  转化为颗粒有机碳(POC), 驱使大气  $\text{CO}_2$  向海洋转移, 而且一般认为, 海洋从大气吸收的  $\text{CO}_2$  比释放到大气中的  $\text{CO}_2$  多, 因此对控制着海洋与大气  $\text{CO}_2$  的交换和缓解全球出现的温室效应具有重要意义。海洋对大气  $\text{CO}_2$  净吸收主要是通过一系列称为生物泵的生物过程来实现的, 这些过程主要包括, 海洋真光层的浮游植物通过光合作用将海水中溶解态  $\text{CO}_2$  转化为颗粒态, 然后通过食物链 (网) 由小颗粒转化为大颗粒, 最后有部分颗粒有机碳沉到海底。海洋生物泵的作用是可能使  $\text{CO}_2$  转变成颗粒有机碳和固体碳酸盐并有相当部分下沉, 通过这样的垂直转移过程, 就可使海洋表层  $\text{CO}_2$  分压低于大气  $\text{CO}_2$  分压, 从而使大气中的  $\text{CO}_2$  得以进入海洋, 实现海洋对大气  $\text{CO}_2$  含量的调节作用 (沈国英等, 2002; 郝镭等, 2007; Ken O B et al., 2008)。据粗略估计, 目前由于认为原因释放到大气的  $\text{CO}_2$  约有一半可能被海洋吸收 (王荣, 1992)。

总之, 初级生产力研究不但对深刻理解和研究海洋生态系统、海洋生物地球化学循环及全球变化等都具有极其重要的意义, 而且为保护海洋生态环境、合理

开发利用海洋资源和赤潮的监测与预报等提供重要理论依据。

## 1 海洋初级生产力的研究动态

### 1.1 国外研究动态

1919 年 Schroeder 首先明确地提出了有关海底海藻类的资料,但对于浮游生物初级生产力则未敢提出任何数据。1937 年 Noddacka 和 Komor 首先提出水体结合碳总量的估算值为  $28.6 \times 10^9$  吨/年,但它仅为一种意见而非根据坚实的数值 (Helmut et al., 1975)。随后,水体初级生产力才真正引起了人们的兴趣。上世界五十年代初丹麦海洋生物学家斯蒂曼-尼尔森 Steemann-Nielsen (1952) 在丹麦海洋调查船“Galathea”进行丹麦海域和太平洋初级生产力调查时首先应用放射性  $^{14}\text{C}$  法进行海洋初级生产力调查。这种方法的一个重要优点在于它的结果不依赖氧的释放,而氧的释放过程在封闭的培养容器中可能由于生产量与呼吸量的相互影响而混淆不清 (Steemann-Nielsen, 1963)。随后大量的海洋调查多采用这种方法来测定水域的初级生产力。1960 年后,液体闪烁计数装置的应用,提高了对  $^{14}\text{C}$  的放射性探测效率,给  $^{14}\text{C}$  法增添了新的生命力。Morris 等 (1971) 和 Schindler 等 (1972) 对  $^{14}\text{C}$  法进行了改进,使基本  $^{14}\text{C}$  法已能够测定颗粒态和溶解态碳的生产量。

迄今,对各海区的初级生产力已进行了很多调查,在这些调查的基础上估计世界海洋初级生产力。Ryther (1969) 把世界海洋分大洋区、沿岸区和上升流区三种类型,估计它们的平均产量分别为 50、100 和  $300 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,认为全世界海洋最可能的初级产量约为  $20 \times 10^9 \text{ tC/a}$ 。Koblentz-Mishke 等 (1970) 根据 7000 个以上测站所得数据,把世界海洋水域分成五种类型。其中,亚热带中部的贫营养水的初级生产水平仅  $70 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,而在沿岸水域可达  $1000 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,亚热带和亚极区过渡海域为  $140 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,赤道辐散区和亚极区海域为  $200 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,近海海域为  $340 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,估计全世界海洋浮游植物的总初级产量为  $23 \times 10^9 \text{ tC/a}$ 。Platt 等 (1975) 和 Berger 等 (1989) 估计为  $30 \times 10^9 \text{ tC/a}$ ,而 Shushkina (1985) 根据 1968~1982 年从 130 个站位获得的资料估计为  $56 \times 10^9 \text{ tC/a}$ 。Lalli 和 Parsons (1997) 估计每年海洋浮游植物生产量约为  $37 \times 10^9 \text{ tC}$ ,大洋区年平均初级生产力为  $75 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,沿岸区达  $300 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,而上升流区高达  $500 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

海洋初级生产的产品不仅以颗粒有机碳 (POC) 的形式存在, 还有相当部分 (5%~50%左右) (Sondergaard et al., 1985; Zlotnik et al., 1989) 是直接以溶解有机碳 (DOC) 的形式释放到水中, 这种光合作用过程中释放的 DOC 被称为 PDOC (Moloney et al., 1991)。海水中自由生活的异养细菌 (free-living heterotrophic bacteria) 可将大部分 PDOC 迅速转化为自身生物量而再次形成 POC, 从而使这部分碳可进入较高层次营养级 (Scaria, 1988)。以往的  $^{14}\text{C}$  法通常只测定了初级生产者 POC, 而漏掉了 PDOC, 这是海洋初级生产力被低估的主要原因。近几年在海洋中发现的那些非常小的原核和真核超微型自养浮游生物在海洋初级生产中占有极重要的地位, 有时候它们对初级生产力的贡献高达 60%。Stockner 等 (1986) 对蓝细菌 (Cyanobacteria) 的研究表明, 在微微型浮游生物类群对初级生产力的贡献中蓝细菌占有很大比重。过去把热带反气旋区看作“沙漠”不毛之地, 认为那里浮游植物生产量每昼夜不超过  $0.1 \text{ g/m}^2$ 。但目前这种观点有了改变, 特别是这类海区也有数量众多的金枪鱼、箭鱼、鲐鱼、竹刀鱼、竹筴鱼及大量食微生物的种类, 这种现象只有在浮游植物产量较高的情况下才能出现。有的学者认为该水域在某些时期的浮游植物产量可达  $0.5 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  左右, 大大地超过了传统的估计数值。海洋所有海区的透光层都可进行初级生产 (即使极地冰下也一样), 只不过由于光、营养盐类供应条件以及生物学过程的差异而造成各海区初级生产力的差别。总的估计, 海洋初级生产力每年约  $40 \times 10^9 \text{ tC}$ , 与陆地的初级生产力总量相近 (沈国英等, 2002)。

海洋微食物环中不同粒级浮游生物及其在生态系统中的作用, 越来越受到海洋生态学家的重视。粒径谱和生物量谱概念的提出, 旨在以能量生态学的观点和方法将复杂生态系统简化为生物量谱的模型, 以便从宏观掌握海洋生态系统的状况及动态 (王荣, 2000; 沈国英等, 2002); 而初级生产的粒级结构研究, 无论在生物量谱, 还是微食物环的研究中, 都是不可缺少的基础环节。近期研究结果表明, 自养的浮游植物大多遵循异速生长的理论, 即浮游植物细胞大小与同化系数之间存在着负相关, 在近岸海湾, 浮游植物的粒级结构也有遵循这一规律的趋势; 对近岸的不同粒级结构的初级生产者及其对初级生产力的贡献证明, 但在受到环境扰动 (如河口区混浊度增加), 这一规律将可能被打破。如在智利近岸的上升流区, 粒级小于  $8 \mu\text{m}$  的浮游植物的光合作用同化系数明显大于粒



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.